

УПРАВЛЕНИЕ СВЕТОВЫМИ ПОЛЯМИ С ПОМОЩЬЮ ДИФРАКЦИОННЫХ ЖИДКОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

© 2010 г. А. А. Казак; А. Л. Толстик, доктор физ.-мат. наук;
Е. А. Мельникова, канд. физ.-мат. наук

Белорусский государственный университет, г. Минск

E-mail: kazakAA@bsu.by

Экспериментально исследованы методы управления световыми полями с помощью оптоэлектронных дифракционных элементов на основе ориентированного слоя нематического жидкого кристалла и фотополимерного материала, позволяющего формировать фазовые анизотропные дифракционные структуры.

Ключевые слова: жидкий кристалл, дифракция, дифракционная решетка, зонная пластинка.

Коды OCIS: 230.1950, 230.3720

Поступила в редакцию 13.04.2010

Уникальные возможности использования жидкокристаллических (ЖК) элементов для управления световыми потоками привлекают пристальное внимание многих научно-исследовательских организаций и промышленных фирм. Такой повышенный интерес объясняется свойствами ЖК-элементов (тонкие оптические слои, низкие рабочие напряжения, дешевизна изготовления). Одним из наиболее перспективных направлений использования жидких кристаллов является создание управляемых дифракционных элементов, формирующих световое поле с необходимыми свойствами [1–6].

Целью работы являлось создание электрически управляемых дифракционных элементов на основе слоя нематического ЖК и фотополимерного светочувствительного ориентанта, позволяющего осуществить пространственную модуляцию директора ЖК и сформировать фазовые анизотропные дифракционные структуры.

В результате проведенных исследований разработаны и созданы электрически управляемые ЖК дифракционные элементы, начальная модуляция показателя преломления которых осуществляется посредством переориентации молекул ЖК фотополимерными ориентирующими покрытиями. На одной из подложек ЖК ячейки фотоувствительный фотополимерный ориентант засвечивался пространственно модулированным УФ излучением через никелевую маску-транспарант на кварцевом стекле. Вторая подложка была засвечена ортогонально

поляризованным пространственно однородным излучением. В итоге в местах засветки фотополимера пространственно модулированным УФ излучением создавалась твист структура (T -деформация ЖК), которая чередовалась с планарной ориентацией директора ЖК. Толщина ЖК-слоя выбиралась от 10 до 20 мкм, что обеспечивало формирование тонких фазовых анизотропных решеток с периодом в десятки микрон.

Выбор схемного решения на основе T -деформации ЖК обусловлен тем, что в этом случае создается пространственно-модулированная ЖК структура с максимальной глубиной модуляции анизотропии показателя преломления [7]. Для реализации максимальной дифракции световой пучок должен направляться на грань ЖК-ячейки с пространственно-модулированным состоянием фотополимерного ориентанта. Экспериментально зафиксированы значения дифракционной эффективности близкие к предельному значению для тонких фазовых голограмм (~ 30%).

Типичные картины пространственного распределения лазерного излучения на выходе ЖК-ячейки, представляющей собой дифракционную решетку с периодом 20 мкм, представлены на рис. 1. Видно, что при приложении внешнего электрического поля эффективность дифракции возрастает. Анализ зависимости дифракционной эффективности ЖК-элемента от приложенного электрического напряжения показал,



Рис. 1. Фотографии дифракционной картины на выходе ЖК элемента при различных напряжениях.

что существуют оптимальные значения напряжения, при которых дифракция в первый порядок максимальна ($U \approx 0,5$ и $1,5$ В). При нулевом напряжении значения дифракционной эффективности ниже в полтора раза. При напряжениях свыше 5 В происходит переориентация директора ЖК (молекулы жидкого кристалла располагаются вдоль вектора электрического поля), и световой пучок практически без потерь распространяется вдоль оси двулучепреломляющего кристалла.

Существование двух оптимальных значений напряжения связано с особенностями дифракции света на анизотропных решетках при разности оптических длин для обыкновенной и необыкновенной волн, в несколько раз превышающей длину волны лазерного излучения (толщина ячейки 10–20 мкм, величина двулучепреломления используемого ЖК $n_o - n_e \sim 0,1$).

При исследовании поляризационных характеристик дифракционных ЖК решеток было обнаружено, что поляризация излучения, дифрагировавшего в четные и нечетные порядки, ортогональна, причем соотношение интенсивностей дифрагированных пучков зависит не только от подаваемого электрического напряжения, но и от поляризации падающего светового пучка. Для объяснения различий в состояниях поляризации дифрагированных волн при использовании четных и нечетных порядков дифракции на тонкой дифракционной решетке может быть использована модель анизотропного транспаранта [8]. Такая модель представляет собой дифракционную решетку, в узлах которой размещены микрофазовые анизотропные пластинки, обеспечивающие поворот плоскости поляризации.

Наряду с дифракционной решеткой на основе ЖК-ячейки была создана зонная пластинка Френеля. Сформированная структура ЖК в обоих случаях была зафиксирована с помощью поляризационного микроскопа (рис. 2). Как

видно, созданные дифракционные ЖК структуры (дифракционная решетка и зонная пластинка Френеля) обладают достаточно высокой контрастностью, сопоставимой с контрастностью используемого транспаранта.

С использованием зонной пластинки Френеля продемонстрирована фокусировка лазерного излучения, причем подача на ЖК ячейку электрических импульсов позволила осуществить динамическое переключение эффекта фокусировки. Показано, что при определенных значениях напряжения фокусировка оптимальна, в то же время, при других напряжениях реализуется полное рассеяние излучения.

Таким образом, в работе продемонстрирована работоспособность схемы электрического управления дифракционной эффективностью ЖК-ячеек с помощью фотополимерных фоточувствительных ориентантов, позволяющих формировать фазовые анизотропные решетки с высокой дифракционной эффективностью. Определены оптимальные схемные решения (структура ЖК-ячейки, поляризация световой волны, рабочий диапазон управляющего электрического напряжения). Обнаружена зависимость поляризации дифрагированных волн от порядка дифракции, что представляет интерес для разработки переключаемых поляризационных ЖК-элементов.

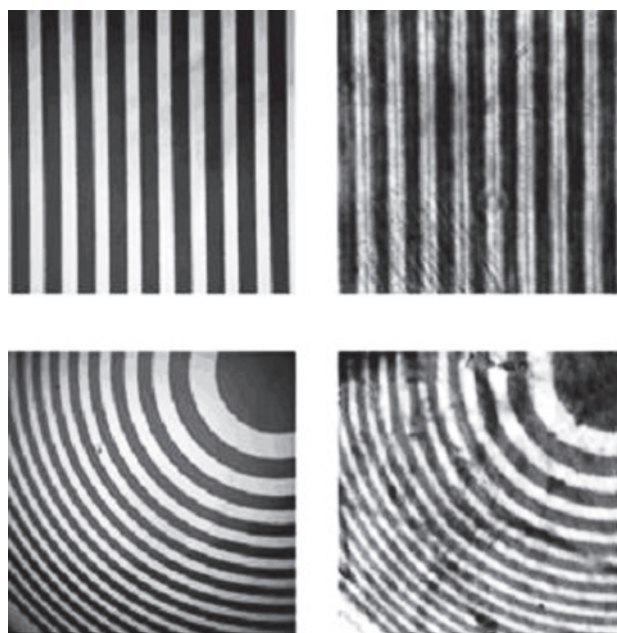


Рис. 2. Фотографии транспаранта (слева) и сформированной дифракционной ЖК структуры (справа).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Pagliusi P., Gipparrone G.* Dynamic grating features for the surface-induced photorefractive effect in undoped nematics // *JOSA. B.* 2004. V. 21. № 5. P. 993–996.
2. *Lin T.-H., Fuh A.Y.-G.* Polarization controllable spatial filter based on azo-dye-doped liquid-crystal film // *Opt. Lett.* 2005. V. 30. № 11. P. 1390–1395.
3. *Sarkissian H., Serak S.V., Tabiryan N.V. et al.* Polarization-controlled switching between diffraction orders in transverse-periodically aligned nematic liquid crystals // *Opt. Lett.* 2006. V. 31. № 15. P. 2248–2252.
4. *Kapoustine V., Kazakevitch A., So V., Tam R.* Simple method of formation of switchable liquid-crystal gratings by introducing periodic photoalignment pattern into liquid crystal cell // *Opt. Commun.* 2006. V. 266. № 1. P. 1–10.
5. *Беляев В.В., Кушниц Е.М., Клыков А.В., Цой В.И.* Численное моделирование дифракции света на периодических анизотропных решетках с поверхностным прямоугольным микрорельефом // *Оптический журнал.* 2005. Т. 72. № 9. С. 86–90.
6. *Liu Y.J., Sun X.W., Wang Q., Luo D.* Electrically switchable optical vortex generated by a computer-generated hologram recorded in polymer-dispersed liquid crystal // *Opt. Express.* 2007. V. 15. № 25. P. 16645–16650.
7. *Казак А.А., Мельникова Е.А., Толстик А.Л., Могильный В.В., Станкевич А.И.* Управляемые дифракционные жидко-кристаллические структуры на основе полимерного фотоориентанта // *Письма в ЖТФ.* 2008. Т. 34. № 20. С. 1–7.
8. *Ebralidze T.D.* About a model of anisotropic diffractive grating // *Sov. J. Optics and Spectroscopy.* 1982. V. 53. P. 944–946.